

# CWBGFS 資料同化系統更新簡介及初步影響評估

陳雯美<sup>1</sup> 陳登舜<sup>1</sup> 趙子瑩<sup>1</sup> 鄧雯心<sup>1</sup> 陳建河<sup>2</sup>  
中央氣象局科技中心<sup>1</sup> 中央氣象局資訊中心<sup>2</sup>

## 摘要

中央氣象局全球數值預報系統(CWBGFS)的資料同化系統是根據美國國家環境預報中心(NCEP)所發展之格點統計內插三維變分-混成系集變分資料同化系統(*GSI 3DVar based hybrid ensemble-variational DA system; 3DEnsVar*)，依 CWBGFS 作業系統及計算機環境修改建置而成，目的在提供最佳之數值預報初始場，提升預報之準確度。2016年5月 NCEP 全球數值預報系統(NCEPGFS)更新其同化系統，新系統同時提升資料同化技術以及同化新觀測資料能力。配合本局新一代超級電腦的正式啟用，CWBGFS 開始進行 NCEP 新版資料同化系統移植至本局電腦系統，並進行測試評估。本文簡介此資料同化系統之更新，及其對 CWBGFS 分析及預報影響之初步評估。

新版同化系統的主要更新包括同化方法由三維(3DEnsVAR)進階為四維(4DEnsVAR) 混成系集變分分析、使用新版的輻射傳遞模式(CRTM)及採用新的衛星輻射觀測資料偏差調整(*bias correction*)方法等。數值預報系統逐年提升解析度，新版同化系統也因應系統對計算機資源需求之劇增，在執行效率方面做了許多改進以符合作業時程的需求。

在移植 NCEPGFS 新版同化系統至 CWBGFS 作業系統環境的過程中，了解其與目前作業同化系統之差異，並初步評估新版同化系統對 CWBGFS 分析及預報的影響，可作為新版同化系統正式在 CWBGFS 作業時各項參數調整之依據。初步的影響評估仍以 3DVAR 進行以減低對計算機資源的需求並可儘速得到結果，測試所使用的參數及觀測資料種類也與作業相同以利結果之比較。單一時間個案測試顯示，新舊版本同化系統即使在相同條件下，分析結果仍有相當顯著的差異。比較不同種類觀測資料對分析結果的影響，顯示衛星輻射觀測資料相較於其他種類資料更易使新舊版同化系統的分析結果產生明顯差異。而以夏季月份(2015年7月)所進行的同化及預報平行測試結果顯示，此資料同化系統的更新會對 CWBGFS 的預報表現有顯著影響。

關鍵字：混成系集-變分資料同化、全球數值預報系

## 一、前言

中央氣象局全球數值預報系統(CWBGFS)的資料同化系統是移植自美國國家環境預報中心所發展的以格點統計內插三維變分(Gridpoint Statistical Interpolation; GSI) (Wu et al 2002; Kleist et al,2009)為基礎之混成系集變分資料同化系統(*GSI 3DVar based hybrid ensemble-variational DA system; 3DEnsVar*)(Wang et al,2007)，依 CWBGFS 作業系統及計算機環境修改建置而成。目前的版本是以 NCEP 2012 年 5 月上線作業的 GSI 版本(Wu et al 2002; Kleist et al,2009) 為基礎建置，在此之後 NCEP 持續發展其同化系統，並多次更新其作業版本。

本文的目的在初步評估更新 CWBGFS 資料同化系統之主要分析模組 GSI 至 NCEP 目前作業版本(2016年5月)對 CWBGFS 觀測資料使用、分析及預

報結果的影響。內容的第二部分簡介 NCEP GSI 版本的更新，第三部分為更新 GSI 版本對 CWBGFS 觀測資料使用及分析的影響，第四部分以平行測試的結果來評估更新 GSI 版本對 CWBGFS 預報的影響，第五部分以颱風尼伯特個案評估不同的衛星雲導風同化策略對颱風路徑預報的影響，最後為總結。

## 二、GSI 版本更新

CWBGFS 是一個波譜模式，目前作業的解析度是 T511L60，水平解析度約 25 公里，模式頂在 0.1hPa(陳等，2015)。CWBGFS 資料同化系統在 2013 年 10 月開始使用 3DEnsVar 系統作業，目前使用的 GSI 版本是以 NCEP 2012 年 5 月上線作業的版本為基礎建置的。作業同化的觀測資料包含傳統資料探空

(rasinsonde)、高空風(PILOT)、飛機觀測、地面及船舶觀測等資料，及衛星觀測雲導風、衛星掩星觀測(gpsro)及輻射觀測等資料，衛星輻射觀測目前使用的包括 NOAA15、NOAA18、AQUA 及 METOP-A 衛星 AMSU-A 以及 SUOMI NPP 衛星的 ATMS 微波觀測頻道輻射觀測資料，和 AQUA 衛星的 AIRS 及 METOP-B 衛星的 IASI 紅外線觀測頻道輻射觀測資料(陳等，2013;陳等，2015)。

NCEP GDAS(Global Data Assimilation System)持續發展更新其同化系統，自 2012 年至 2016 年 5 月共有 4 次系統更新(參見 NCEP GDAS 官網)。包括 2013 年的 2 次更新，主要變更為增加新類別觀測資料的同化，如衛星 Suomi NPP 的 CrIS 及衛星 METOP-B 之 AMSU-A、MHS 等資料。分析系統的更新主要在 2015 年及 2016 年的更新版本。2015 年的更新包含優化程式及 EnKF 系統部分的更新，並開始使用衛星 GOES 及 EUMESAT 每小時的衛星雲導風觀測資料(SATWND)以及 METOP-B 的 GPSRO 資料，同時也對飛機溫度觀測資料做偏差調校。2016 年版本則在同化方法上有重大的改變，包括分析方法由三維(3DEnsVAR)進階為四維(4DEnsVAR) 混成系集變分分析、更新輻射傳遞模式為 CRTM2.2.1，並改善衛星 SATWND 及輻射觀測資料稀疏化(thinning)及權重的處理方式等。整體而言，在觀測資料使用上，版本更新在衛星雲導風、衛星輻射觀測以及飛機溫度觀測資料的使用上有具體的變動。

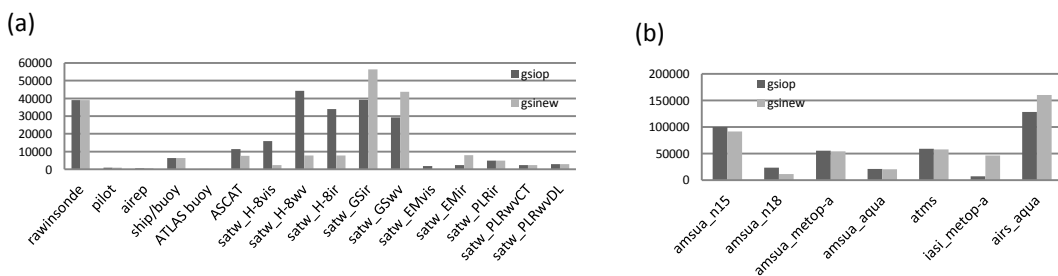
### 三、對 CWBGFS 觀測資料使用及分析的影響

以 2016 年 6 月 8 日 00Z 個案，分別用作業版 GSI (gsi\_op) 及新版 GSI(gsi\_new)使用 3DVAR 同化目前 CWBGFS 作業使用的觀測資料，來了解更新 gsi 版本變動對 CWBGFS 觀測資料使用及分析結果的影響。

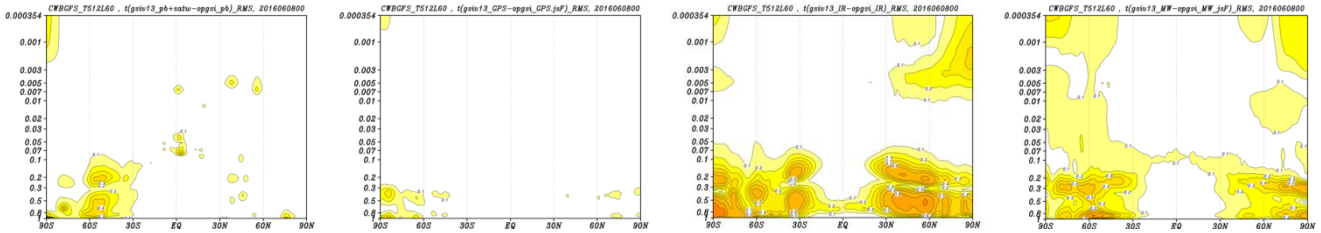
圖一是 gsi\_op 及 gsi\_new 各類別觀測資料同化量的比較。傳統觀測資料的地表氣壓、溫度及水汽

觀測以及 gpsro 資料在兩版 gsi 分析系統中的同化的資料量非常相近(圖未示);風場(u/v)則部分觀測類別的同化資料量有明顯的差異(圖一(a))，主要是衛星觀測資料的部分，尤其是 SATWND 觀測資料，其中又以日本向日葵衛星(Himawari-8; H-8) 的 SATWND 資料同化量的差異最為明顯，而 GOES 及 METEOSAT 的差異也相當明顯。衛星輻射觀測資料部分同化量的差異(圖一(b))以衛星紅外輻射觀測資料的同化量差異較為明顯。

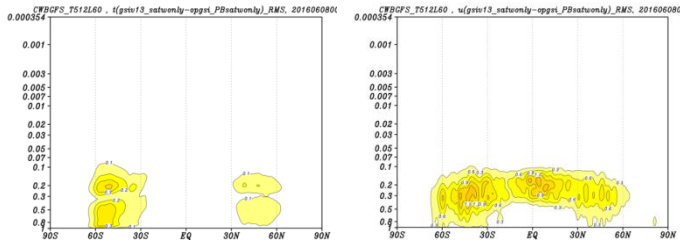
根據觀測資料的特性將觀測資料分為四大類：傳統觀測(conventional)、gpsro、衛星紅外輻射觀測(IR)以及衛星微波輻射觀測(MW)資料，來了解相較於 gsi\_op，gsi\_new 對 CWBGFS 分析的影響。圖一是分別以 gsi\_op 及 gsi\_new 同化這四類觀測資料的垂直各層溫度分析增量差異的緯向均方根誤差。結果顯示只同化 gpsro 觀測(圖二(b))的溫度分析增量的差異是最小的，其次是傳統觀測資料，只同化衛星紅外輻射觀測及只同化衛星微波觀測資料的分析增量的差異最明顯(圖二(c)(d))，主要的差異出現在中、高緯度對流層大氣，其中又以同化衛星紅外輻射觀測資料的差異最為明顯，應與此次更新版本輻射觀測資料運算子由 CRTM2.0.5 更新為 2.2.1 及對資料稀疏化(thinning)方式調整有關。傳統觀測資料對分析的影響差異(圖一(a))雖然較衛星輻射資料的差異小，但也相當明顯，尤其是南半球中、高緯度的中、下對流層大氣以及北半球接近模式頂部分。配合圖三只同化 SATWND 觀測的垂直各層溫度及風場東西分量(u)分析增量的緯向均方根誤差，圖三(b)顯示兩分析系統對風場的分析有很大的差異，主要的差異出現在中、低緯度的中、上對流層，SATWND 觀測資料對風場分析的影響也透過分析系統風場與質量場的關係影響溫度分析場，使溫度分析也出現明顯的差異(圖三(a))，是傳統觀測資料造成對流層分析溫度差異的主要來源(圖二(a))。



圖一：個案 2016 年 6 月 8 日 00Z (a)風東西分量資料同化量，包括探空(rawinsonde)、高空風(pilot)、飛機(airep)、船舶及浮標(ship/buoy)、ATLAS 浮標以及衛星可見光(vis)、紅外線(ir)、水汽(wv)雲導風(satw)資料:日本 Himawari-8(H-8) 的 satw\_H-8vis、satw\_H-8ir 及 satw\_H-8wv，歐洲 METEOSAT(EM)的 satw\_EMvis 及 satw\_EMir 及美國 GOES 的 satw\_GSIR 及 satw\_GSwv，繞極衛星 TERRA 及 AQUA 的 satw\_PLRir、satw\_PLRwv。(b)衛星輻射觀測資料，包括 NOAA15、NOAA18、METOP-A、AQUA 的 AMSU-A、Suomi NPP 的 ATMS、METOP-A 的 IASI 及 AQUA 的 AIRS。



圖二：以 gsi\_op 及 gsi\_new 只同化 (a)傳統觀測 (b)GPSRO (c)衛星 I 紅外線觀測頻道輻射觀測 (d)衛星微波觀測頻道輻射觀測 資料的垂直各層溫度分析增量的緯向均方根誤差。



圖三：以 gsi\_op 及 gsi\_new 只同化衛星雲導風觀測資料的垂直各層的(a)溫度(b)風東西分量(u) 分析增量的緯向均方根誤差。

#### 四、對 CWBGFS 預報的影響 – 平行測試結果

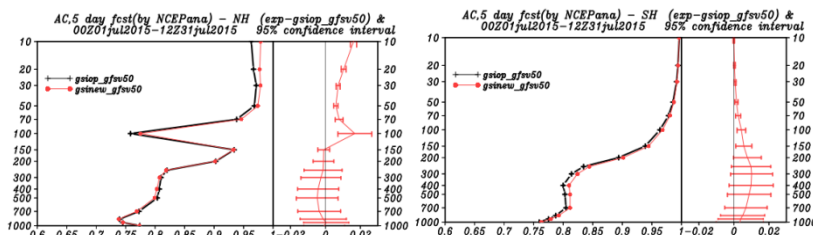
以 2015 年夏季 7 月份進行 2 組更新循環(update cycle) 平行測試實驗，評估更新 gsi 分析系統對 CWBGFS 預報的影響。基於電腦資源考量，同化系統採 3Dvar 分析進行。平行測試實驗使用中央氣象局解析度 T511L60、規劃今年度將上線的預報模式(研發版本 v5.0)，並同化目前作業系統同化的所有觀測資料(參見本文第二部分)，同化分析系統部分分別採用 gsi\_op 及 gsi\_new 進行兩組實驗，實驗代號及說明如表一。

由於兩組實驗的差異為分析系統，因此以 NCEP 分析場做為各個校驗的參考。圖四是 2015 年 7 月 1 日至 31 日高度場 5 天預報的平均距平相關(anomaly correlation)及其差值和 95% 信心區間。圖四(a)顯示北半球 100hPa 以上各層，實驗 gsinew\_gfsv50 表現較佳，以下則兩組實驗表現相當，差值及 95% 信心區間顯示 100hPa 以上實驗 gsinew\_gfsv50 較實驗 gsiop\_gfsv50 顯著改善，100hPa 以下則二者相當，但 gsinew\_gfsv50 表現略差。南半球部分(圖四(b))則顯示幾乎整層大氣均以 gsinew\_gfsv50 表現較佳，尤其是 300hPa 以上各層的改善非常顯著。

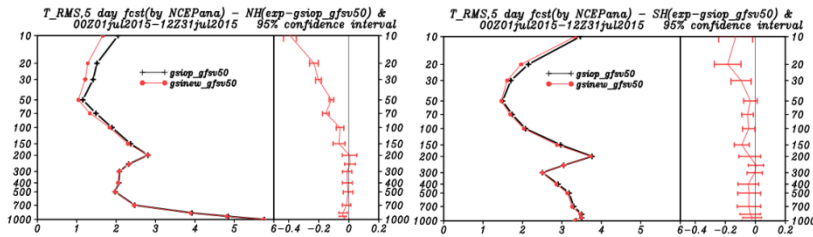
圖五是實驗期間高度場 5 天預報的平均溫度均方根誤差及其差值和 95% 信心區間。圖五(a)顯示北半球 100hPa 以上各層實驗 gsi\_gfsv50 的均方根誤差較實驗 gsi\_gfsop 明顯變小，差值及 95% 信心區間也顯示 150hPa 以上各層大氣實驗 gsinew\_gfsv50 的預報誤差有非常顯著的改善；此外，對流層下層均方根誤差的差值雖不大，但 95% 信心區顯示實驗 gsinew\_gfsv50 對 850hPa 以下各層溫度預報誤差的改善也很顯著，而對流層中、上層表現則二者相當。南半球的部分(圖五(b))也顯示實驗 gsinew\_gfsv50 對整層大氣的溫度預報誤差都有改善，尤其是 150hPa 以上各層的改善非常顯著。圖六為風場東西分量(u)的結果，北半球(圖六(a))對流層 700hPa 以下 gsinew\_gfsv50 誤差較 gsiop\_gfsv50 顯著較小，以上至 150hPa 為二者相當但以 gsinew\_gfsv50 誤差略小，100hPa 以上各層則除了 10hPa 以 gsiop\_gfsv50 誤差較小外，二者誤差均相當。南半球(圖六(b))則 200hPa 以下層二者相當，以上各層則以 gsiop\_gfsv50 的預報誤差顯著較小，是 gsinew\_gfsv50 表現較差的部分。

表一：平行測試實驗說明

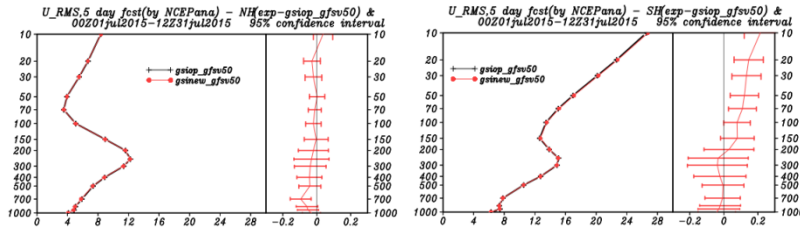
實驗代號	同化分析系統	預報模式系統
gsiop_gfsv50	作業版 gsi 分析系統	研發 gfsv5.0
gsinew_gfsv50	新版 gsi 分析系統	研發 gfsv5.0



圖四：2015 年 7 月 1 日至 31 日高度場 5 天預報的平均距平相關(anomaly correlation)(圖左) 及其差值(g sinew\_gfsv50-gsiop\_gfsv50)和 95% 信心區間(圖右)。(a)北半球(b)南半球。



圖五：2015年7月1日至31日高度場5天預報的平均溫度均方根誤差(圖左)及其差值(gsinew\_gfv50-gsiop\_gfv50)95%信心區間(圖右)。(a)北半球(b)南半球。



圖六：2015年7月1日至31日高度場5天預報風東西分量(u)均方根誤差(圖左)及其差值(gsinew\_gfv50-gsiop\_gfv50)95%信心區間(圖右)。(a)北半球(b)南半球。

## 五、衛星風觀測資料同化策略對颱風路徑預報的影響

本文第二部分有關更新 gsi 版本對觀測資料使用及分析影響的分析顯示 SATWND 資料的同化量差異很大且造成兩分析系統的分析結果有非常顯著的影響。進一步比較兩版 gsi 系統發現，造成差異的原因一為兩分析系統所使用的 SATWND 資料進入同化系統前的處理不同，gsi\_op 使用的是經過 NCEP 資料同化前處理系統品控(Quality Control;QC)後的 SATWND 觀測資料(prepbufr)，gsi\_new 則使用未經 QC、較原始的 SATWND 資料(satwndbufr)；另一原因則是二者同化資料的策略不同，gsi\_op 同化此資料時未再做進一步的資料稀疏化(thinning)，但 gsinew 則以水平 200 公里、垂直 100hPa 進行稀疏化(thinning)，同化空間密度較低的觀測資料，這也是兩系統 SATWND 資料同化量差異的原因。

颱風 NEPARTAK 是今年(2016 年)西太平洋的第一個颱風，對台灣台東地區造成非常嚴重的災害。在此藉由颱風尼伯特(NEPARTAK)個案進行同化更新實驗，進一步了解以不同策略同化 H-8 SATWND 資料對 CWBGFS 颱風路徑預報的影響。

實驗期間為 2016 年 6 月 29 日至 7 月 8 日 00Z，校驗颱風期間 7 月 3 日至 7 月 8 日 00Z 之 00Z 及 12Z 颱風預報路徑。實驗設計如表二。各組實驗同化目前作業使用的所有觀測資料，差異僅在 SATWND 資料的同化策略。第一組實驗使用作業版

gsi(gsiop\_PBSatwnd)，並同化目前 CWBGFS 同化作業使用、經 NCEP 前處理 QC 但未經資料稀疏化的 H-8 SATWND 資料(prepbufr\_satwnd)；其他四組實驗均使用新版 gsi，包括同化與實驗 gsiop\_PBSatwnd 相同觀測資料的實驗 gsinew\_PBSatwnd 及完全未同化 H-8 SATWND 資料的 gsinew\_nJsw 做為對照組實驗，以及同化原始未經前處理 QC 的 H-8 SATWND 資料(satwndbufr)的兩組實驗：一為以水平 200 公里、垂直 100mb 進行資料稀疏化的實驗 gsinew\_satwnd\_200，另一為不做資料稀疏化的實驗 gsinew\_satwnd\_nothn。

比較使用作業 gsi 版本的實驗 gsiop\_PBSatwnd(圖七(a))與其他組實驗的颱風預報路徑(圖七(b)-(e))，新版 gsi 個實驗的預報路徑除了 7 月 3 日 00Z 及 12Z 外，各個起始時間的預報路徑較為一致，尤其當颱風仍在海面期間，比較上，使用作業版 gsi 的 gsiop\_PBSatwnd 則變動較大。圖六(a)與(b)的差異僅在分 gsi 版本不同，二者的路徑預報就有很大的不同，gsinew\_PBSatwnd 預報的颱風路徑基本上都較實際路徑偏北，且較長時間的預報顯示接近台灣時北轉的趨勢，雖未能握實際颱風動向，但整體而言對颱風路徑的預報較為一致，預報路徑逐漸接近實際路徑，而 gsiop\_PBSatwnd 較長預報時間預報的路徑較實際路徑時而偏南許多、時而偏北許多，較不穩定。值得一提的是這些差異包含兩



個分析系統對其他觀測資料、如衛星輻射資料等同化方式的差異，這也顯示更新 gsi 版本對 CWBGFS 的颱風路徑預報明顯的影響。

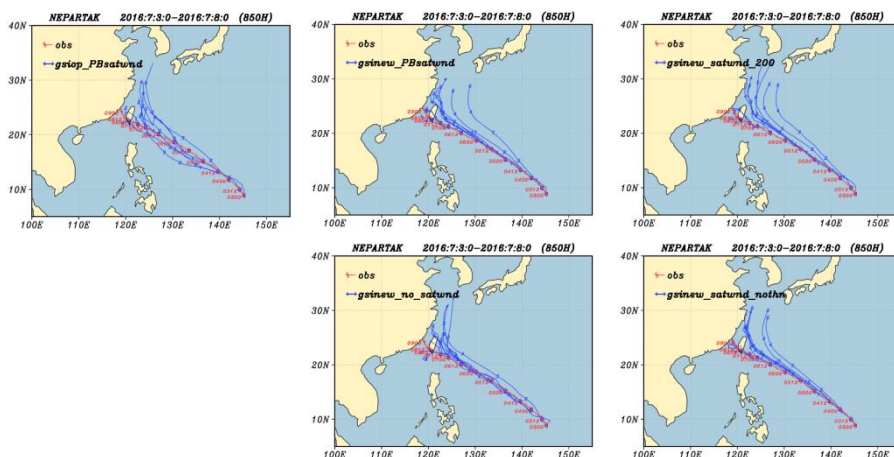
圖七(b)-(e)均使用新版 gsi 版本，但採用不同 SATWND 資料同化策略。由於使用相同的預報模式，各實驗對颱風路徑預報的整體趨勢是一致的，基本上較長預報時間的預報路徑較實際颱風路徑偏北，且接近台灣時有北轉的趨勢，因此即使未同化 H-8 SATWND 資料的實驗 gsinew\_no\_satwnd 整體的預報趨勢也類似，但在接近台灣時各起始時間的預報路徑差異很大；同化 satwndbufr 的兩組實驗(圖七(d)(e))的預報路徑相對而言較具一致性，其中又以實驗 gsinew\_satwnd\_nothn 是整個預報期間的預報路徑最

一致的。

平均路徑預報誤差(圖八(a))顯示 90 小時以前的預報路徑誤差以實驗 gsinew\_satwnd\_nothn 的最小，以 72 小時預報為例，誤差較其他實驗小約 50km(gsinew\_PBsatwnd)至 200km(gsinew\_nJsw)。但 96 小時以後較長時間的路徑預報誤差就隨預報時間越長而越大，較其他隨預報時間越長反而變小的實驗的誤差明顯較大。整個實驗測試時間個案數較多的 12 小時預報的個案數只有 11 個，至 96 小時以上的個案數小於 5 個(圖八(b))，未來仍需要進行更多的測試使結果更具代表性，但由此颱風個案測試顯示 SATWND 資料的同化策略對颱風路徑的預報有非常明顯的影響。

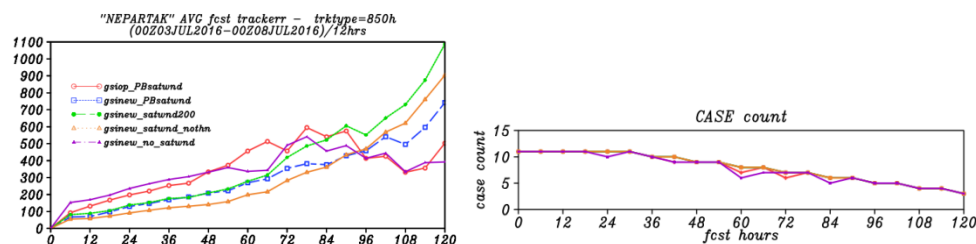
表二：衛星風觀測資料同化策略對路徑預報影響實驗設計

實驗名稱	分析系統	H-8 SATWND 資料同化策略
gsiop_PBsatwnd	作業版 gsi	prepbufr_satwnd
gsinew_PBsatwnd	新版 gsi	prepbufr_satwnd
gsinew_nJsw	新版 gsi	未同化 H-8 SATWND
gsinew_satwnd_200	新版 gsi	satwndbufr 資料，並以 200km/100mb thinning
gsinew_satwnd_nothn	新版 gsi	satwndbufr 資料，未做資料 thinning



圖七：2016 年 7 月 3 日 00Z 至 8 日 00Z 採用不同方式同化 SATWND 觀測資料的颱風路徑預報。

(a)實驗 gsiop\_PBsatwnd (b)實驗 gsinew\_PBsatwnd (c)實驗 gsinew\_nJsw (d) 實驗 gsinew\_satwnd\_200 (e)實驗 gsinew\_satwnd\_nothn 的預報路徑。



圖八：2016 年 7 月 3 日至 8 日 00Z 及 12Z 平均颱風預報路徑誤差。"◻ ◼ ◻ ◼ ◻"分別代表實驗 gsiop\_PBbufr、gsinew\_PBbufr、gsinew\_satwnd\_200、gsinew\_satwnd\_nothn 及 gsinew\_no\_satwnd。

## 六、 結論

本文的目的為以 NCEP 目前作業的 GSI 版本更新 CWBGFS 的同化系統，並使用 3DVAR 進行各項分析及實驗，初步評估更新 GSI 版本對 CWBGFS 同化分析及預報的影響。

分析結果顯示更新 GSI 版本對觀測資料的使用及分析結果有明顯的影響。衛星雲導風觀測資料的同化資料量差異是各類觀測資料中最明顯的；分析結果部分則以同化衛星紅外觀測頻道的輻射觀測資料的分析結果差異最大，而同化衛星雲導風觀測資料則不但在風場分析有顯著差異，也透過分析質量場與風場的平衡關係對溫度分析場造成顯著差異。一個月平行測試 5 天預報的校驗結果顯示，相較於作業版 *gsi*，北半球除了對流層平均距平相關為持平偏負影響外，其他較驗結果均與作業版相當或明顯改善，尤其是 100hPa 以上各層高度距平相關和溫度誤差以及近地表各層溫度和風場預報誤差有顯著的改善；南半球部分，除了 100hPa 以上風東西分量的預報誤差較使用作業版 *gsi* 的預報誤差顯著較大外，其他較驗結果均顯示新版 *gsi* 有較好的表現。

颱風尼伯特個案測試顯示，更新 *gsi* 版本對 CWBGFS 的颱風路徑預報有明顯的影響，新版 GSI 各個時間預報的颱風路徑較作業版 GSI 的預報有一致性。而新版 GSI 採用不同同化策略同化衛星雲導風資料對颱風路徑預報也有明顯的影響，實驗結果顯示以同化未經前處理 QC 的原始衛星雲導風資料、且不做稀疏化的原解析度資料的颱風預報在 90 小時預報前預報誤差最小，72 小時預報誤差較其他實驗小 50 公里至 200 公里。雖然僅是一個颱風個案的結果，但結果顯示不同的資料同化策略對預報結果有很明顯的影響，因此，研擬適合的資料同化策略是未來提供最佳分析場、提升預報表現的研發重點之一。

就現階段而言，初步評估結果顯示新版 *gsi* 提供的預報初始場，除南半球上層風場外，對預報表現有正面的貢獻。未來除了持續加強觀測資料的使用外，將以此新版 GSI 為基礎，進行 CWBGFS 3DEnsVar 同化系統的建置與測試評估，並進一步進行 CWBGFS 4DEnsVAR 建置測試，以期更有效的使用各種觀測資料，提供更好的預報初始場，提升系統的預報表現。

## 參考文獻:

- 陳建河、陳雯美和汪鳳如，2015: The recent improvement of high resolution model T511L60 of CWBGFS。天氣分析研討會論文集編。
- 陳雯美、陳建河和馮欽賜，2013: IASI 觀測對中央氣象局全球數值預報系統的影響評估。天氣分析研討會論文集編。
- 陳雯美和陳建河，2015: 衛星高光譜大氣紅外觀測資料對氣象局全球數值預報系統的影響。天氣分析研討會論文集編。
- Kleist, Daryl T., David F. Parrish, John C. Derber, Russ Treadon, Wan-Shu Wu, Stephen Lord, 2009: Introduction of the GSI into the NCEP Global Data Assimilation system. *Wea. Forecasting*, 24, 1691–1705.
- Wu, W.-S., D. F. Parrish, and R. J. Purser, 2002: Three-dimensional variational analysis with spatially inhomogeneous covariances. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 2905–2916.
- Wang, X., C. Snyder, and T. M. Hamill, 2007: On the theoretical equivalence of differently proposed ensemble/3D-Var hybrid analysis schemes. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 222–227.